

新型コモンレールターボディーゼルの開発

Development of New Turbocharged Common Rail Diesel Engine

阿部 智也*

Tomoya ABE

月村 清*

Kiyoshi TSUKIMURA

長 弘 憲 一*

Kenichi NAGAIHIRO

大 崎 浩 一*

Hirokazu OHSAKI

辻 義 仁*

Yoshihito TSUJI

小 沢 一 則*

Kazunori OZAWA

要 旨

Hondaは、2.2L 4気筒ディーゼルエンジンを初めて自社開発し、2004年欧州向けアコードに搭載した。

開発したエンジンの特徴は、最新の1600 bar コモンレール制御システム、EGRクーラシステム及び後処理技術の採用により EURO-IV 規制にいち早く適合したこと、新鋳造法によるシリンダブロックなどの軽量コンパクト化技術の適用、燃焼技術と低フリクション技術によるトップクラスの出力特性と低燃費及び静粛性の両立などである。

これらの独自技術により、開発コンセプトであるパワフルかつ高品位なディーゼルエンジンを実現することができ、欧州で高い評価を得ている。

ABSTRACT

Honda has developed its first 2.2L 4-cylinder diesel engine for the 2004 model Accord to be marketed in Europe.

The newly developed engine has a number of distinctive features. The employment of the latest 1600 bar common rail control system, an EGR cooler and an after-treatment system has enabled the engine to comply with the EURO-IV regulations. The application of a variety of technologies to make the engine both lighter and more compact, including the employment of a cylinder block manufactured using a new casting process, and the use of advanced combustion and friction reduction technologies have resulted in a balance of power output, fuel efficiency and quietness at the top of this engine class. The employment of these original technologies has enabled the full realization of the development concept, which stressed power and refinement, and the Accord has been well received in the European market.

1. まえがき

世界的規模で環境問題への関心が高まる中で、特に欧州においては地球温暖化への危機感が強く、CO₂を削減しつつ、高いパフォーマンスが得られるディーゼルエンジンが昨今注目され、一大市場を築いている。Hondaは、これまでも Compound Vortex Controlled Combustion (CVCC)⁽¹⁾を初めとし、Variable timing and lift control Technology (VTEC)⁽²⁾シリーズ、Compressed Natural Gas engine (CNG)⁽³⁾、Electric Vehicle (EV)⁽⁴⁾、ハイブリッド⁽⁵⁾、燃料電池自動車⁽⁶⁾等の先進的な環境、燃費技術に取り組んできた。そして今回、Hondaとしては初の自社設計となるターボチャージドディーゼルエンジン、intelligent - Common Rail Turbocharged Direct injection

(i-CTDi)を開発した。エンジン外観図を Fig. 1 に、主要諸元を Table 1 に示す。



Fig. 1 External view of i-CTDi diesel engine

Table 1 Main specification of i-CTDi diesel engine

Engine type	DOHC-4VLV
Displacement (cm ³)	2204
Bore × Stroke (mm)	85 × 97.1
Compression ratio	16.7
Fuel injection system	Common rail
Maximum power (kW/rpm)	103/4 000
Maximum torque (Nm/rpm)	340/2 000

2. 開発コンセプト

我々が開発にあたり考えたことは、ディーゼルエンジンの長所である低燃費を最大限に生かし、短所である騒音や振動が大きい点を最小限にとどめることである。

最新のディーゼルエンジンは、ガソリンエンジンと比較しても遜色ないほどに高い出力性能が得られ、場合によってはむしろディーゼルの方が勝る場合も少なくない。これをディーゼルの長所ととらえる考え方もあるが、従来のガソリンエンジンでは到達し得ない低燃費性こそ、ディーゼルエンジンが持つ最大の長所であると考えた。

同時にガソリンエンジンに比べて魅力を低下させているのが振動、騒音である。出力と同様に近年大きな進歩を遂げているが、独特の燃焼音をはじめとした騒音は、品位に欠けることはいめない。これを克服し、ガソリンエンジンと同等レベルにまで低減できれば、広く受け入れられるエンジンになると考えた。

また、コンセプトのベースとして当然のことながら環境への配慮がある。2005 年より始まる EURO-IV 規制に適合する性能を上記 2 項目と合せ持つことで、バランスの取れたエンジンとすることができると考えた。

これらを総称して“ファーストクラス ディーゼルエンジン”と定義付け、開発の方向性として定め、コンセプトを達成するための核技術として以下の 3 項目を追求した。

- (1) 軽量、高剛性骨格
- (2) 燃焼の高精度制御
- (3) 高効率排気処理システム

3. 軽量、高剛性骨格

低燃費、低 NV を実現するためには、軽量かつ高剛性な骨格を用いることが必須である。ディーゼルエンジンを新規開発するにあたり、Honda の得意とするアルミニウム鋳造技術^{(7)・(9)}を進化させ、生産性を兼ね備えたクローズドデッキ アルミニウムシリンダブロックを開発した。

一般にアルミニウムブロックは、高圧鋳造で生産されることが多い。この製法は生産性に優れるが、高圧のため砂中

子が使えないことや、ガスを巻き込むため熱処理が困難等の課題がある。一方ディーゼルエンジンは、筒内圧が高いため、クローズドデッキ方式が望ましい。これらを両立させるため、半凝固状態のアルミニウムを低圧で金型にショットする製法である、Advanced Semi-solid Casting Technology (ASCT)を開発し、クローズドデッキ構造でありながら高い生産性を得ている。Fig. 2にこのシリンダブロック全体図を示す。同時に溶体化熱処理を可能とし、薄肉化を図ることで、同クラスのディーゼルエンジンに多く用いられる鋳鉄製ブロックに対し、約 30%の軽量化に成功した(Fig. 3)。

スリーブは、遠心鋳造法による鋳鉄製のものを鋳込んでおり、外周のスパイニ(密着性を確保するための突起)を除く肉厚は、薄肉化し 3 mm としている。また、スリーブ間のアルミニウム肉厚も同様に 3 mm とし、ガソリンエンジン同等である 9 mm の狭軸間とすることができた。

シリンダブロックのもう一つの特徴は、オフセットシリンダ配置である。ボアセンタに対しクランクセンタをスラスト側に 6.5mm オフセットし、ピストン側圧を約 30%低減した。Fig. 4にシミュレーション結果を示す。これにより低燃費化、低 NV 化を同時に達成している。

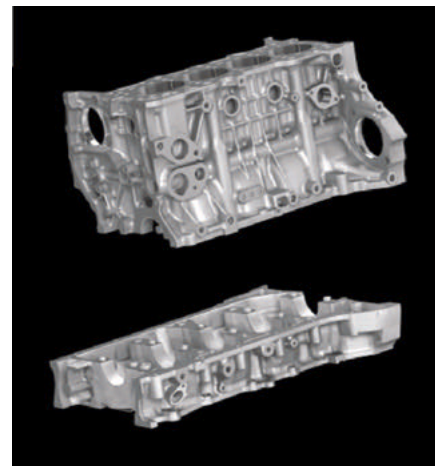


Fig. 2 Photograph of ASCT aluminum cylinder block

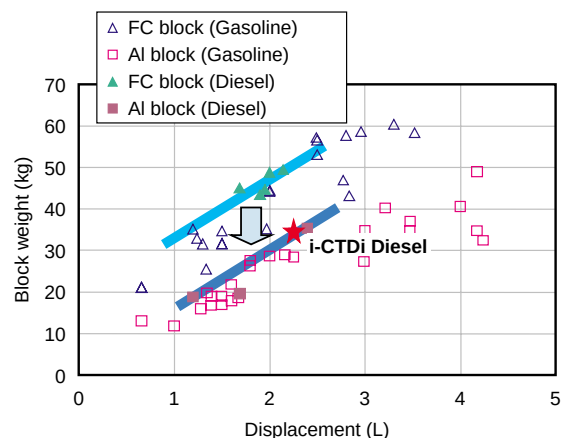


Fig. 3 Effect of ASCT on weight of cylinder block weight

メインベアリング支持は、アルミニウムダイキャスト製ロアブロック構造とし、高剛性化に寄与している。

また、低水温時のフリクション低減のため、鋳鉄製ベアリングホルダ鋳込みをおこなっている。これらの構造により、Fig. 5 に示すようにアルミニウムブロックでありながら、鋳鉄並みの高い剛性を確保することができた。

クランクシャフトは、軽量化のため4ウェイト方式を採用し、高強度化を図るため高周波焼入れ⁽¹⁰⁾をおこなっている。メイン/ピンジャーナル径は、60/50mmである。ベアリングは、昨今のエンジンオイルの低粘度化を考慮した高面圧固体潤滑オーバーレイ付きベアリングとし、境界潤滑特性を向上させ、0W-20 クラスの低粘度エンジンオイルへの対応を可能としている。さらに初期馴染みの改善を狙い、表面に二硫化モリブデンコーティングを施している。

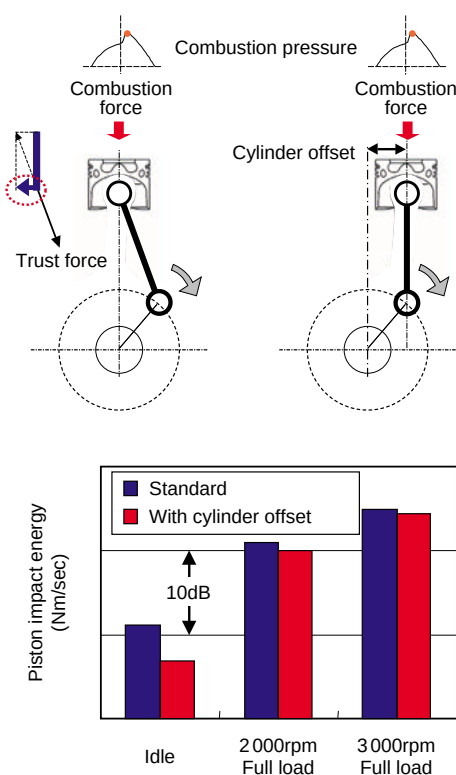


Fig. 4 Effect of offset cylinder on thrust force

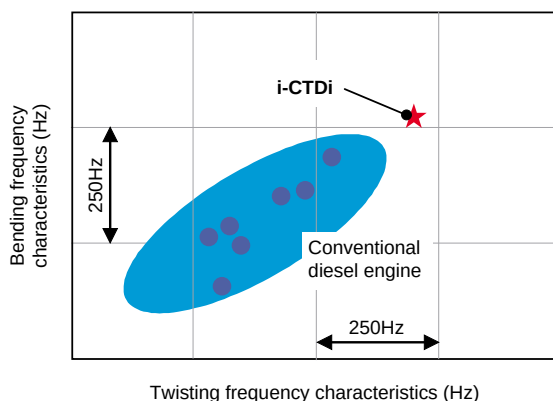


Fig. 5 Dynamic characteristics of cylinder block

シリンダヘッドは、直立バルブ、直噴インジェクタ、グロープラグ等がひしめき合うため、構造が複雑かつ高い熱負荷を受ける。このためラジエータで冷却された冷却水で最初に冷却し、その後シリンダブロックに導かれ各デバイス類を冷却する、ヘッド先行冷却方式を採用した。Fig. 6にシリンダヘッド全体図を、Fig. 7に冷却システム図を示す。この冷却手法を採用することで、一般的なシリンダブロック先行冷却方式に対し、Fig. 8に示すようにヘッド各部の放熱が改善されている。

動弁系は、センタインジェクションを可能とするため、DOHC 4バルブを採用した。ローラロッカアームと組み合わせることで、低フリクション化に寄与している。また、メンテナンスフリー化を図るため油圧式ラッシュアジャスタを採用している。

動弁系の駆動は、シングルローラチェーンとしている。ディーゼルエンジンは、回転変動が大きく駆動チェーンに対する荷重が高いため、サイレントチェーンでは幅広と

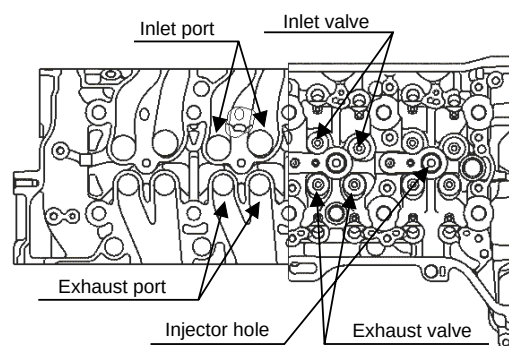


Fig. 6 Detail of cylinder head

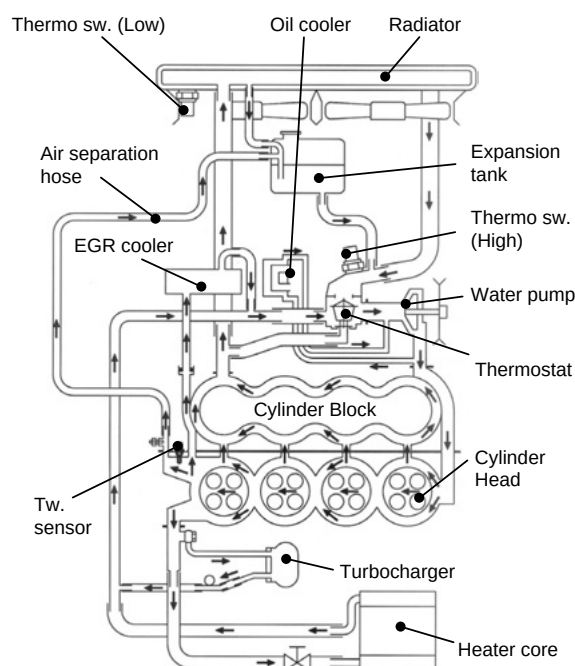


Fig. 7 Schematic diagram of cooling system

なってしまう。また、エンジンオイル中にすすが存在するため、ブッシュチェーンではピッチング磨耗が激しくなる。このため、耐磨耗性に優れたVC(Vanadium Carbide)処理をおこなったローラチェーンを採用した。吸気/排気カムシャフト間の駆動伝達は、せらしギヤ付のヘリカルギヤで起こない、NV 低減と同時にコンパクト化している。

また、低 NV 化のため、2次バランサシステムを採用した。コンパクト化を狙いとし、カムシャフトと同様にシングルローラチェーンで駆動し、オイルパン内にバランサユニットを収納した。Fig. 9 に動弁駆動系全体図を示す。

バランサユニットは、低フリクション化とオイルエアレーションの低減を両立するため、ケース構造を最適化している。なお、バランサユニットは、同軸上でオイルポンプを駆動し、合理化している。

補機システムは、エンジンフロント側に集結させ、サーペンタイン補機ベルトで駆動することで、コンパクト化を

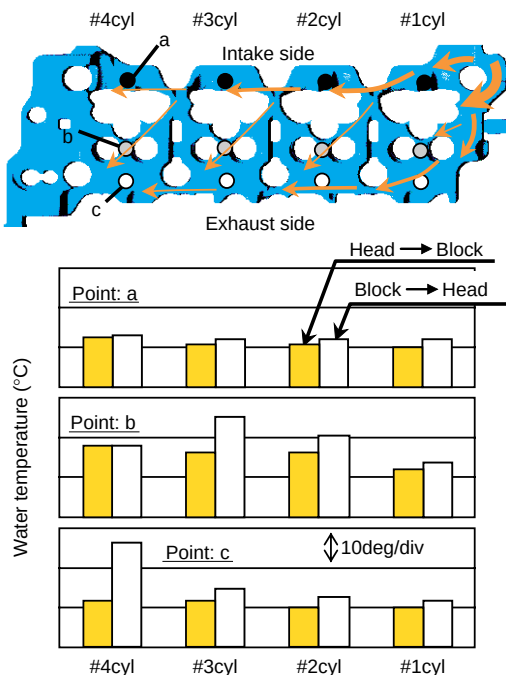


Fig. 8 Effect of top feed cooling system

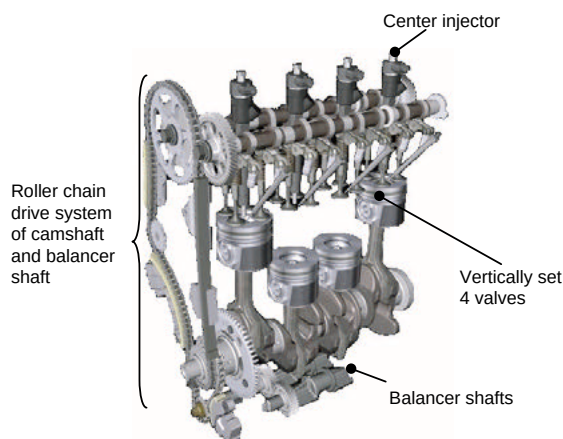


Fig. 9 Schematic diagram of drive train system

図った。また、リサイクルタイプのオイルフィルタのアルミニウムケーシングボディを活用し、これを補機ブラケットとして合理化することで合せて軽量化効果も得ている。Fig. 10 に補機システムを示す。

また、i-CTDi は、NV 低減のためのデュアルマスフライホイールと補機ベルト張力低減のため、トルク変動吸収クランクプーリーを用いているが、始動時に共振領域を通過するため、補機の中でもっとも慣性マスの大きい発電機に、ワンウェイクラッチ付プーリーを適用している。

4. 燃焼の高精度制御

燃焼室は、4弁式のリエントラント型中央燃料噴射である。コンセプトである低燃費、低騒音、クリーンを達成する燃焼として、均質かつ緩慢な燃焼に近づけるべく、Fig. 11 に示すような多くの燃焼室選定をおこない、形状を最適化した。同時に圧縮比を 16.7 に設定して低フリクション化した。この時課題となる低水温時の燃焼改善として、始動後もグロープラグを通电し続けるアフタグロー制御を導入し、安定した燃焼を確保している。バルブは垂直配置とし、ピストン頂面のバルブポケットを廃止することで S/V 比 (Surface/Volume 比) を 0.643(1/mm) と低く設定し、クリーン化に対応した。燃焼室形状の詳細を Fig. 12 に示す。

燃焼のポテンシャルを最大限に引き出すには、制御システムの高精度、高自由度化が不可欠であり、i-CTDi では、多くのデバイスを電子制御している。コントロールシステム図を Fig. 13 に示す。

燃料噴射系は、BOSCH 社製コモンレールシステムを採用した。最高燃圧 1600bar を得る高圧ポンプは、排気カムシャフト端に配置したサブシャフトで駆動される。減速比は最適効率を得られるよう、エンジン回転に対して 5/6 回転で設定した。カムシャフトーサブシャフト間は、低 NV

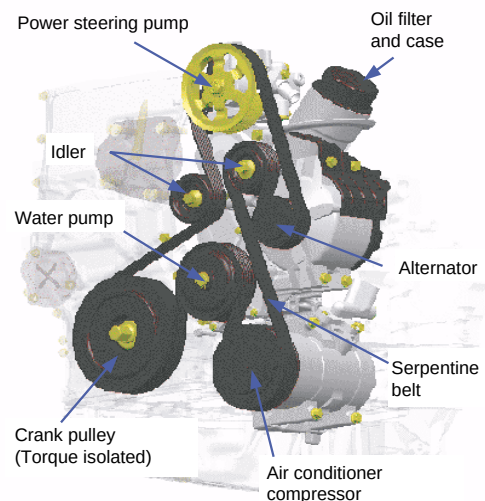


Fig. 10 Schematic diagram of auxiliary device drive system

(Noise and Vibration, 以下NV)を狙いとし、せらし機構付ヘリカルギヤで、サブシャフトー高圧ポンプ間は、オルダムカップリングで駆動伝達している。システム全体図をFig. 14

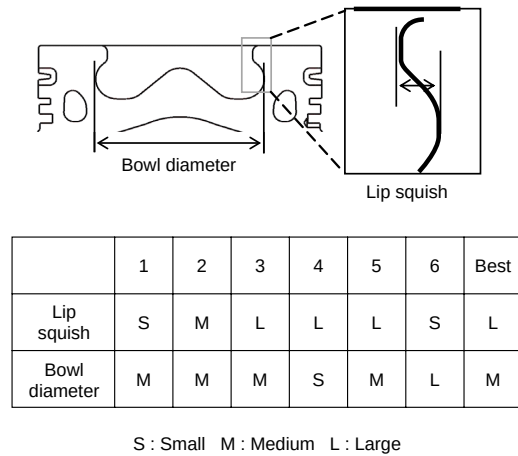


Fig. 11 Test result of various type of combustion chamber

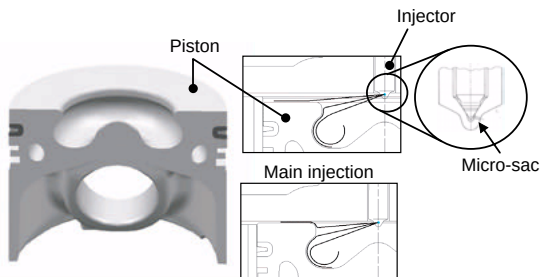


Fig. 12 Detail of the combustion chamber

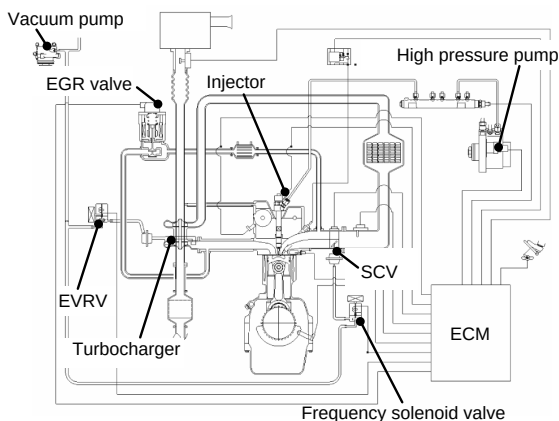


Fig. 13 Schematic diagram of total control system

に示す。また、噴射ノズルに関しては、PM (Particulate Matter) 抑制効果が高く、噴霧形状バラツキの小さいマイクロサック型6孔とした。

i-CTDiでは、リニア可変スワールコントロールバルブ(以下 SCV)を用い、全運転領域にわたり最適かつ高精度なスワール制御をおこない、燃焼を最適化している。Fig. 15に示すように、SCVは独立した2つのポートに対し、それぞれにチャンバを持つタンデム型のインテークマニフォールド上流に、EGRガスの直撃を避けて配置し、シンプルで信頼性の高いシステムとしている。2つのポートは、プライマリー側をスワールポート、セカンダリー側を燃焼室接線方向に配置したストレートポートとし、Fig. 16に示すように1.2 から 4.0 間のスワール比を、低吸入抵抗で実現している。バルブ本体は開度センサを備え、フリーケンシーソレノ

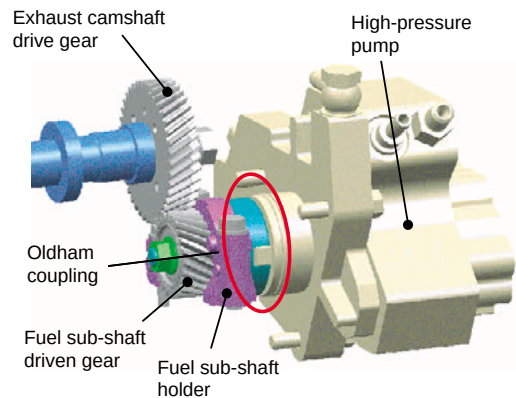


Fig. 14 Schematic diagram of drive system of high-pressure pump

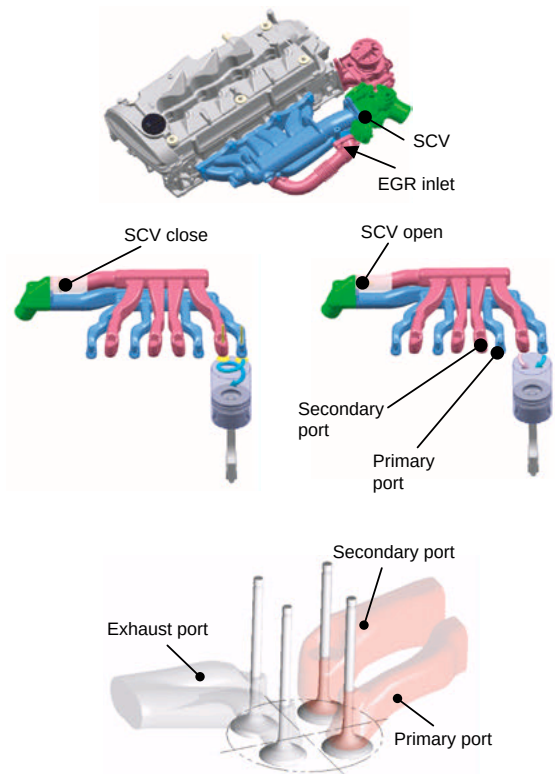


Fig. 15 Schematic diagram of intake system

イドバルブを用いて電子制御される負圧により駆動される。
Fig. 17 に SCV の開度設定マップを示す。

NO_x 低減を図るための EGR は、燃焼状態に大きな影響を与えるため、制御をつかさどる EGRバルブをリニアソレノイド駆動の電子制御方式とし、高精度、高応答化した。リニアソレノイドは、負圧駆動方式に対して駆動力が小さいため、ダブルポペットタイプを採用し、過給エンジン特有の背圧をキャンセルする構造とした(Fig. 18)。

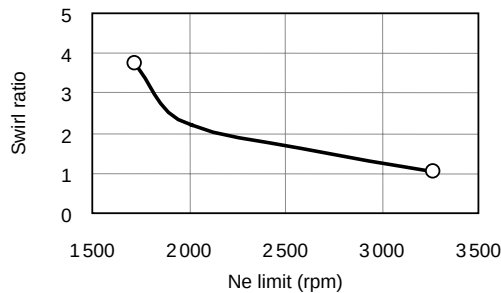


Fig. 16 Relationship between Ne limit and swirl ratio

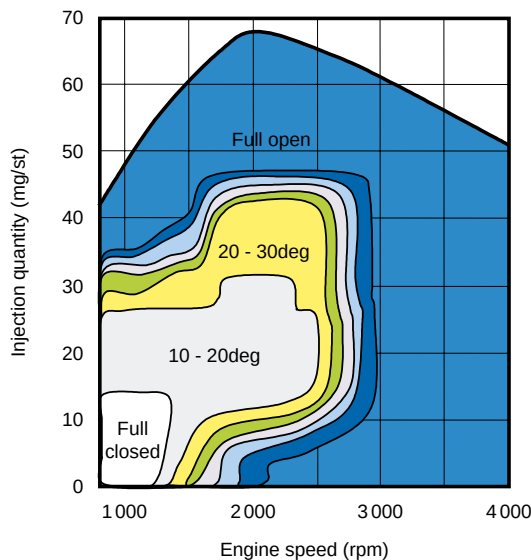


Fig. 17 Control map of SCV

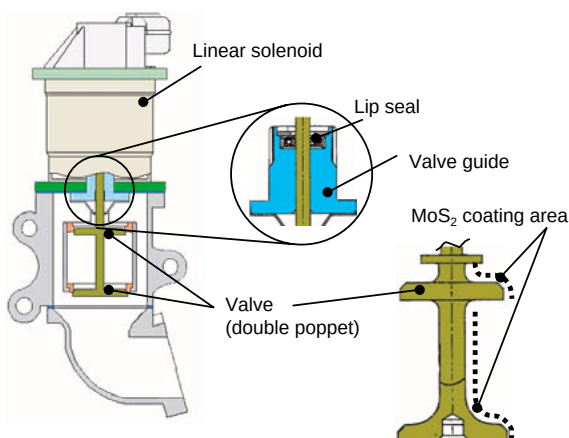


Fig. 18 Cross-section of electrically controlled EGR valve

同時に、バルブガイドへの排ガス侵入を抑えるシールド構造や、未燃燃料等に含まれるガム分による、バルブシート貼り付きを防止する MoS₂ コーティング等を採用し、高い信頼性を確保している。また、水冷式 EGR クーラを EGRバルブ下流に配置し、EGR密度を上げることで、より効率の良い NO_x 低減を図っている。

過給システムは、可変ジオメトリ式ターボチャージャーを採用し、コンプレッサ、タービンの最適設定をおこなうことで、全域で最適な過給を図った。ジオメトリの制御は、EVRV (Electric Vacuum Regulating Valve) によって電子制御される負圧により、インテークマニフォールド内で検出される目標過給圧に対し、ベーンを開閉することによりおこなう。センタハウジングは水冷方式とし、高熱にさらされるベアリングやエンジンオイルを保護している。また、空冷式インタクーラを備え、最高過給圧 130kPa を得ている。

5. 高効率後処理システム

EURO-IV の排ガス規制を達成させるために、エンジンフィードガスの低減に加え、排気後処理システムの高効率化が必須であり、i-CTDi では、ディーゼル用の排気後処理システムを新たに開発した。Fig. 19に排気後処理システム全体図を示す。

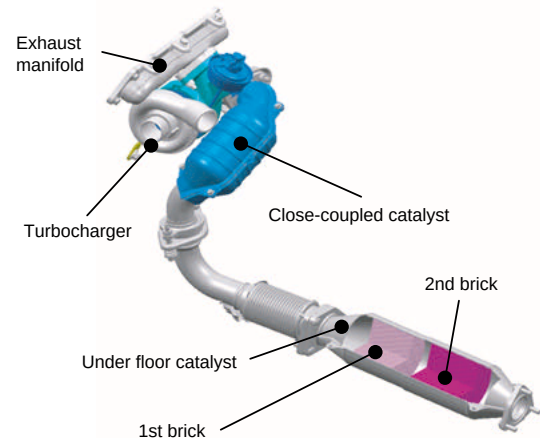


Fig. 19 Schematic diagram of exhaust system

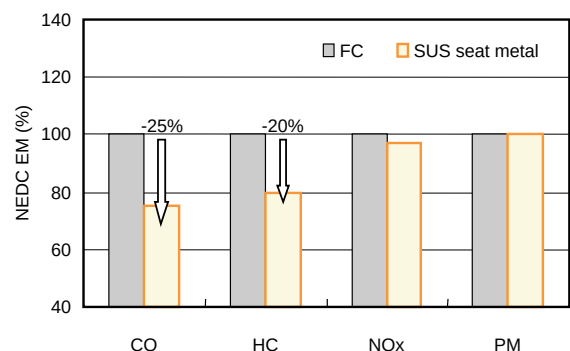


Fig. 20 Effect of seat metal exhaust manifold

Table 2 Main specification of catalyst

	Close-coupled catalyst	Under floor-catalyst	
		1st brick	2nd brick
Type	Oxidation	De-NOx	De-NOx
Volume (L)	0.7	1.0	1.3
Substrate	Metal foil	Metal foil	Metal foil
Foil thickness (mm)	0.03	0.03	0.03
Cell density (cpsi)	400	400	400
Coating	Pt base	Pt base	Pt base
Zeolite	A	A	B

エキゾーストマニフォールドには、極めてコンパクトなステンレス製のプレスタップを用いることでヒートマスを低減し、触媒の昇温特性を向上させている。これにより鋳鉄製のものに対し、Fig. 20 に示すように CO, HC 成分を 20 - 25%低減することができた。

触媒の諸元を Table 2 に示す。触媒システムは、直下に酸化触媒、床下には Fig. 21 に示すような NOx の浄化温度特性の異なる 2 種類の NOx 選択還元型触媒を組み合わせて 2 ベッド構成とし、NOx 浄化温度ウィンドウを拡大、最適化させている。また、担体にはセラミックスよりも熱の伝導、拡散性に優れている箔厚 0.03mm のメタルフォイルを用いることで、低温域の酸化ライトオフ性能を向上させ、酸化力と NOx 浄化性能の確保を高次元でバランスさせた設計としている。

6. 主な性能

Fig. 22 に i-CTDi の出力性能を示す。最高出力は、いずれも同等排気量エンジンの中でトップクラスの性能である。出力特性のセッティングは、低中速の加速性を重視したものとしており、町乗りから高速走行まで、幅広い運転領域で高い性能を発揮できるものと考えている。

この i-CTDi を搭載したアコードは、5MT との組合せで、EUDC モード燃費 5.4L/100km のカテゴリートップの燃費と、EURO-IV エミッションを同時に達成している。

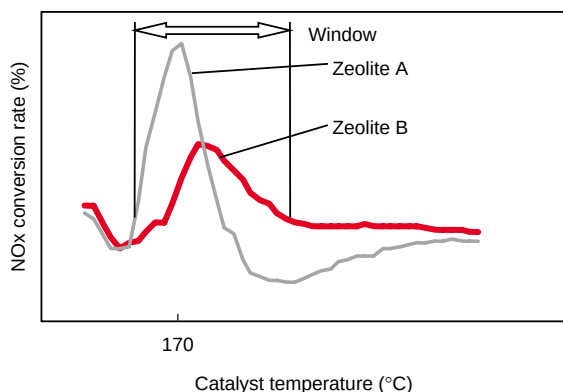


Fig. 21 Thermal characteristics of De-NOx catalyst

またこのアコードの NV レベルは、Fig. 23 に示すように同クラスディーゼルエンジン中トップレベルとなっており、これらのことから基本コンセプトが達成できたと考えている。

7. まとめ

“ファーストクラスディーゼルエンジン”を基本コンセプトに、低燃費、低 NV を目指した i-CTDi ターボチャージドディーゼルエンジンを開発した。

- (1) 1600bar コモンレールシステムを採用し燃焼を最適化、連続可変スワールコントロールバルブ、水冷EGRクーラ、De-NOx 触媒等と組み合わせることで、いち早く EURO-IV 規制に適合することができた。
- (2) 新製法軽量アルミニウムシリンダブロック、ローラチェーンをはじめとする骨格技術により大幅な軽量、コンパクト化を達成した。

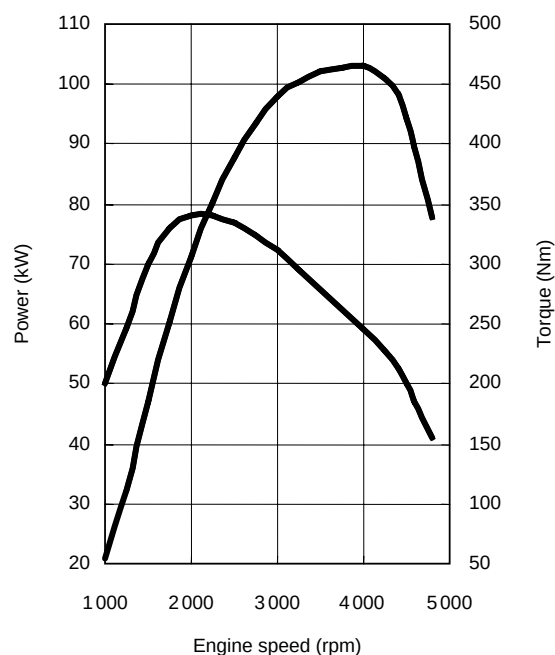


Fig. 22 Power curve of i-CTDi diesel engine

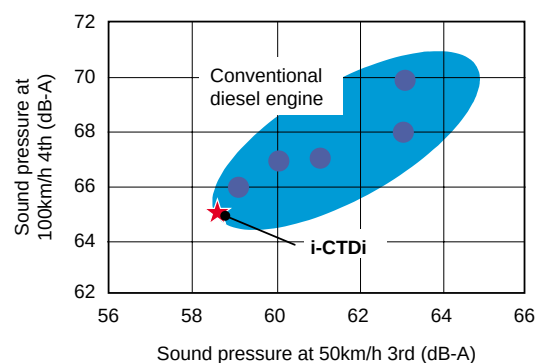


Fig. 23 NV level of i-CTDi diesel engine

- (3) 燃焼技術と可変ターボチャージャ、およびオフセットクランクをはじめとする低フリクション技術により、トップクラスの出力特性と低燃費を高い次元で両立した。
- (4) 燃焼制御と骨格の高剛性化により、ガソリンエンジンに匹敵する静粛性を達成した。

参考文献

- (1) 八木静夫, 藤井功, 畑中徹: CVCC エンジンの諸特性について, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.741, p.285-289
- (2) 大浦秀二, 三浦啓二: 可変機構を用いたガソリンエンジンの高効率化について, 自動車技術, Vol.45, No.8, P93-98(1991)
- (3) 戸田琢士, 松木正人, 大森忠信, 山本裕: Civic GX 1.7L CNG エンジンの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.14, No.1, p.49-56(2002)
- (4) 小椋正巳, 鈴木茂, 松本謙次: 電気自動車「HONDA EV PLUS」の紹介, HONDA R&D Technical Review, Vol.9, p.1-10(1997)
- (5) 堀尾幸一, 藤村章, 斉藤政昭, 角田和彦, 瀧口士郎: 超低燃費ハイブリッドカー「インサイト」の開発, Honda R&D Technical Review, Vol.11, No.2, p.1-8(1999)
- (6) 川崎聡志, 小椋正巳, 小野徹, 加美陽三: 世界初の燃料電池乗用車 Honda FCX の開発, Honda R&D Technical Review, Vol.15, No.1, p.1-6(2003)
- (7) 水戸部啓一, 板倉清之: 新型アコード・ビガーの紹介, 自動車技術, Vol.40, No.5, p.611-618(1986)
- (8) 林直義, 牛尾英明, 藤沢義和, 畑恒久, 柴田一雄, 海老沢賜寿雄: ハイブリッド繊維複合材の諸特性とエンジンブロックへの応用, HONDA R&D Technical Review, Vol.1, p.55-65(1989)
- (9) 篠原道雄, 畑恒久, 加藤久: 新構造アルミシリンダブロックの開発 4連鋳鉄ライナ鋳込みアルミダイキャストシリンダブロック, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.954, p.257-260(1995)
- (10) 恩田勇人, 浅井鉄也, 藤木賢治, 工藤洋嗣, 室伏和昌: 高強度高周波焼入れクランクシャフトの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.15, No.2, p.175-182(2003)

■ 著 者 ■



阿部 智也



長 弘憲一



辻 義仁



月村 清



大崎 浩一



小沢 一則